

Analisis Pengaruh Penambahan Unit Pembangkit Baru terhadap Arus Gangguan ke Tanah pada Gardu Induk Grati

Galuh Indra Permadi¹, Drs. Ir. Moch. Dhofir, MT.², Ir. Mahfudz Shidiq, MT.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: gee_redz@yahoo.com

Abstrak—Skripsi ini membahas tentang arus gangguan pada sistem Gardu Induk Grati. Penambahan Unit Pembangkit baru pada PLTGU yang dekat dengan Gardu Induk Grati membuat arus gangguan pada sistem tersebut berubah, khususnya ketika gangguan terjadi di sisi Pembangkit dan di sisi Gardu Induk. Permasalahan yang muncul inilah yang dianalisis, apakah arus gangguan ke tanah pada Gardu Induk Grati menurun atau justru semakin meningkat. Analisis ini dilakukan dengan menghitung nilai arus gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah sebelum dan sesudah penambahan Unit Pembangkit baru dengan metode perhitungan impedansi urutan ekuivalen sistem sesuai dengan titik dimana gangguan terjadi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penambahan Unit Pembangkit baru membuat nilai arus gangguan ke tanah meningkat, khususnya arus gangguan maksimum yaitu dari 32343.521 A menjadi 36565.117 A. Analisis ini juga dilakukan untuk kondisi titik netral sub-sistem baru yang ditanahkan melalui tahanan 500 Ω . Hasilnya adalah pada gangguan satu fasa ke tanah dan dua fasa ke tanah, arus gangguan maksimum menurun dengan selisih mencapai 2.3 %.

Kata Kunci—Gardu Induk Grati, impedansi urutan, arus gangguan ke tanah.

I. pendahuluan

Kebutuhan daya listrik di Pulau Jawa khususnya di wilayah Jawa Timur yang terus meningkat perlu diikuti dengan penyediaan daya listrik dengan cara menambah Unit-Unit Pembangkit baru. Untuk memenuhi kebutuhan permintaan daya listrik tersebut, PT. Indonesia Power (Pembangkit Listrik Tenaga Gas–Uap, disingkat PLTGU) yang berada di Grati, Kabupaten Pasuruan menambah satu Unit Pembangkit baru. PLTGU Grati berada dekat

dengan Gardu Induk sehingga pembangunan Pembangkit baru ini tentu saja harus diikuti dengan pembangunan Gardu Induk.

Penambahan Unit Pembangkit baru pada suatu Sistem Gardu Induk sangat mempengaruhi besar arus gangguan ke tanah, utamanya gangguan ke tanah pada sisi Pembangkit dan pada sisi Gardu Induk. Gangguan ke tanah yang terjadi pada sisi Pembangkit dan sisi Gardu Induk ini menghasilkan arus yang sangat besar bila dibandingkan dengan arus gangguan yang terjadi di sisi jaringan transmisi maupun di sisi beban pada keseluruhan sistem yang lebih luas.

Oleh karena itu, dalam perencanaan pembangunan Gardu Induk Grati analisis arus gangguan ke tanah di sisi Pembangkit dan di sisi Gardu Induk perlu dilakukan. Skripsi ini juga menganalisis pengaruh tahanan titik netral sub-sistem Pembangkit baru terhadap nilai arus gangguan ke tanah. Nilai-nilai arus gangguan dari hasil analisis selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk kajian-kajian lain, seperti kajian untuk dasar penentuan proteksi arus lebih dan pentanahan peralatan pada Gardu Induk Grati.

II. Tinjauan pustaka

A. Gangguan ke Tanah pada Sistem Gardu Induk

Pada Gangguan tanah merupakan gangguan yang paling sering terjadi pada sistem tenaga dan dapat berakibat fatal pada sistem. Gangguan tanah terjadi akibat adanya tegangan induksi kumparan-kumparan trafo atau Pembangkit terhadap struktur logam disekitarnya; adanya arus bocor akibat gangguan sistem isolasi (*breakdown isolation*) antar bagian yang bertegangan sehingga terjadi hubung singkat; serta adanya kenaikan tegangan mendadak akibat surja hubung atau surja petir (Hutauruk, 1999 : 120).

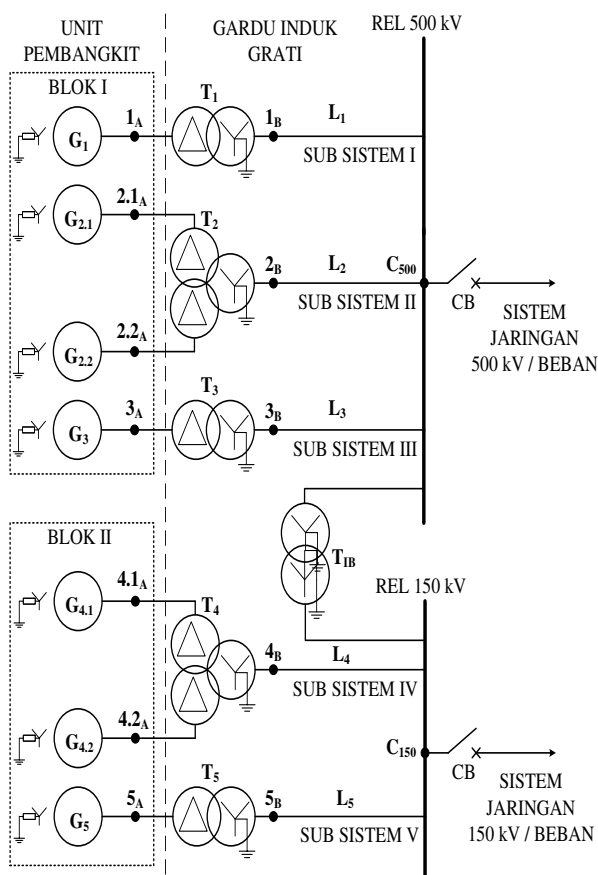
Gangguan ke tanah sering terjadi juga pada Sistem Gardu Induk, khususnya pada Sistem Gardu Induk yang dekat dengan Pembangkit seperti pada Gardu Induk Grati. Gangguan pada Sistem Gardu

Induk ini biasanya terjadi pada sisi Pembangkit dan pada sisi Gardu Induk.

B. Analisis Arus Gangguan ke Tanah

Dalam analisis arus gangguan ke tanah, besaran yang dibutuhkan untuk menghitung suatu nilai arus gangguan selain arus dan tegangan adalah reaktansi atau impedansi urutan (Sulasno, 1993 : 165). Setiap komponen pada sistem Gardu Induk memiliki nilai impedansi urutan yang membentuk rangkaian impedansi urutan sistem. Dengan adanya rangkaian impedansi urutan ini, arus gangguan yang terjadi di suatu titik pada sistem dapat dicari yaitu dengan mendapatkan nilai penyederhanaan impedansi urutannya.

Analisis arus gangguan ke tanah pada sistem Gardu Induk Grati dilakukan dengan menggunakan asumsi bahwa Pemutus Tenaga / *Circuit Breaker* (CB) yang menghubungkan sistem Gardu Induk ke sistem yang lebih besar dihubungkan-buka ketika gangguan terjadi.



Gambar 1 Diagram Garis Tunggal Sistem Gardu Induk Grati.

Sumber : PLN Pusat Pelayanan Enjiniring : 6.0 – 7.

Gambar 1 menunjukkan bahwa Unit-Unit Pembangkit terhubung ke sistem jaringan 500 kV

dan 150 kV melalui Trafo Daya membentuk lima Sub-Sistem dengan komponen-komponen sebagai berikut :

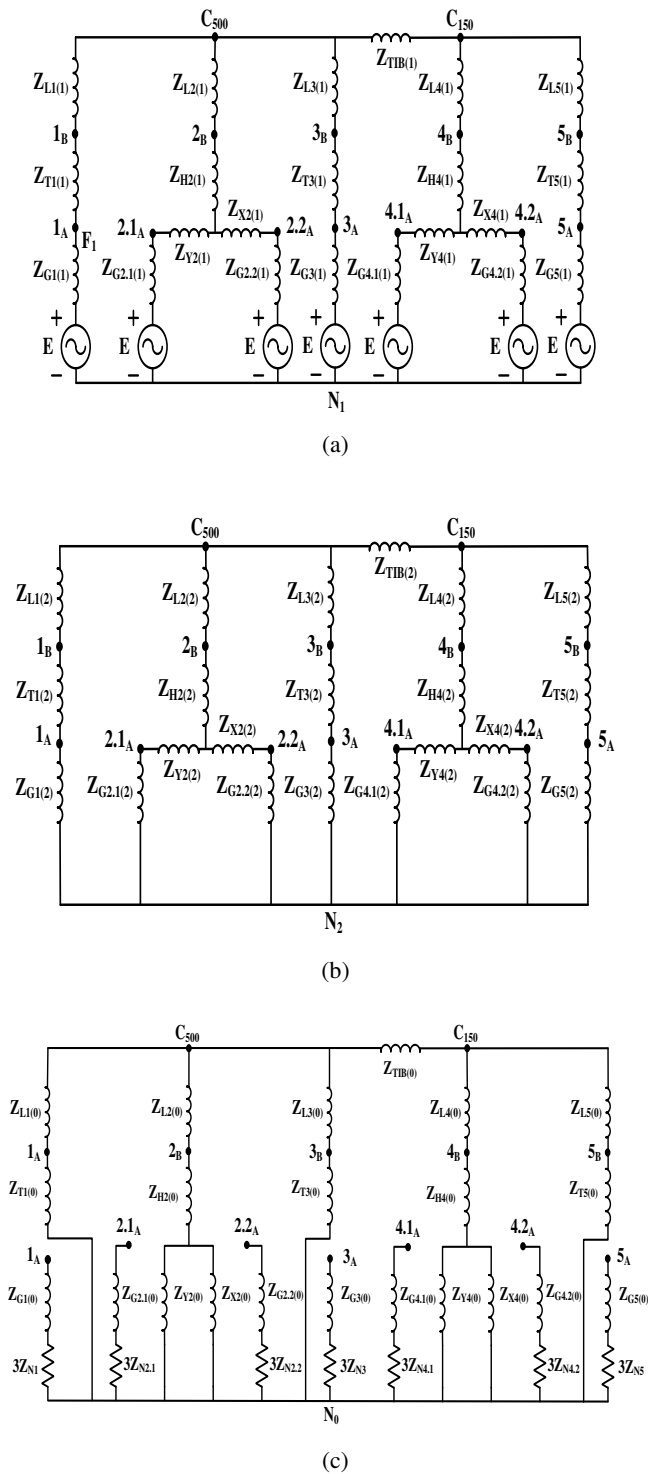
- Sistem I antara lain : G_1 adalah Pembangkit I, T_1 adalah Trafo I dan L_1 adalah Saluran I.
- Sistem II antara lain : $G_{2.1}$ dan $G_{2.2}$ adalah Pembangkit II, T_2 adalah Trafo II dan L_2 adalah Saluran II.
- Sistem III antara lain : G_3 adalah Pembangkit III, T_3 adalah Trafo III dan L_3 adalah Saluran III.
- Sub-Sistem IV antara lain : $G_{4.1}$ dan $G_{4.2}$ adalah Pembangkit IV; T_4 adalah Trafo IV dan L_4 adalah Saluran IV.
- Sub-Sistem V antara lain : G_5 adalah Pembangkit V; T_5 adalah Trafo V dan L_5 adalah Saluran V.
- T_{IB} adalah Trafo Penghubung antar Rel.

1. Perhitungan Impedansi Urutan

Setiap komponen Sistem Gardu Induk pada Gambar 1 memiliki tiga impedansi urutan, yaitu impedansi urutan positif (Z_1), impedansi urutan negatif (Z_2) dan impedansi urutan nol (Z_0). Impedansi setiap komponen sistem antara lain sebagai berikut :

- Sistem I antara lain : G_1 yaitu $Z_{G1(1)}$, $Z_{G1(2)}$, $Z_{G1(0)}$, Z_{N1} ; T_1 yaitu $Z_{T1(1)}$, $Z_{T1(2)}$, $Z_{T1(0)}$; L_1 yaitu $Z_{L1(1)}$, $Z_{L1(2)}$, $Z_{L1(0)}$.
- Sistem II antara lain : $G_{2.1}$ yaitu $Z_{G2.1(1)}$, $Z_{G2.1(2)}$, $Z_{G2.1(0)}$, $Z_{N2.1}$; $G_{2.2}$ yaitu $Z_{G2.2(1)}$, $Z_{G2.2(2)}$, $Z_{G2.2(0)}$, $Z_{N2.2}$; T_2 yaitu Z_{HX2} , Z_{HY2} , Z_{XY2} ; L_2 yaitu $Z_{L2(1)}$, $Z_{L2(2)}$, $Z_{L2(0)}$.
- Sistem III antara lain : G_3 yaitu $Z_{G3(1)}$, $Z_{G3(2)}$, $Z_{G3(0)}$, Z_{N3} ; T_3 yaitu $Z_{T3(1)}$, $Z_{T3(2)}$, $Z_{T3(0)}$; L_3 yaitu $Z_{L3(1)}$, $Z_{L3(2)}$, $Z_{L3(0)}$.
- Sistem IV antara lain : $G_{4.1}$ yaitu $Z_{G4.1(1)}$, $Z_{G4.1(2)}$, $Z_{G4.1(0)}$, $Z_{N4.1}$; $G_{4.2}$ yaitu $Z_{G4.2(1)}$, $Z_{G4.2(2)}$, $Z_{G4.2(0)}$, $Z_{N4.2}$; T_4 yaitu Z_{HX4} , Z_{HY4} , Z_{XY4} ; L_4 yaitu $Z_{L4(1)}$, $Z_{L4(2)}$, $Z_{L4(0)}$.
- Sistem V antara lain : G_5 yaitu $Z_{G5(1)}$, $Z_{G5(2)}$, $Z_{G5(0)}$, Z_{N5} ; T_5 yaitu $Z_{T5(1)}$, $Z_{T5(2)}$, $Z_{T5(0)}$; L_5 yaitu $Z_{L5(1)}$, $Z_{L5(2)}$, $Z_{L5(0)}$.
- T_{IB} yaitu $Z_{TIB(1)}$, $Z_{TIB(2)}$, dan $Z_{TIB(0)}$.

Rangkaian setara impedansi urutan sistem untuk Gambar 1 ditunjukkan pada Gambar 2 (Sulasno, 1993 : 174 – 175) dimana Gambar 2 merupakan rangkaian setara dari diagram garis tunggal Sistem Gardu Induk Grati.



Gambar 2 Rangkaian Impedansi Urutan Sistem Gardu Induk Grati Sebelum : (a) Urutan Positif, (b) Urutan Negatif, dan (c) Urutan Nol.

Sumber : Sulasno, 1993 : 177.

Rangkaian pada Gambar 2 digunakan untuk mencari nilai impedansi urutan ekuivalen sesuai titik dimana gangguan terjadi.

C. Persamaan Arus Gangguan ke Tanah

1. Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Persamaan arus gangguan satu fasa ke tanah adalah :

$$I_f = I_a = 3E / (Z_1 + Z_2 + Z_0)$$

2. Gangguan Dua Fasa ke Tanah

Persamaan-persamaan saat gangguan tanah terjadi pada dua fasa adalah :

$$I_{a1} = E_a / (Z_1 + (Z_2 // Z_0))$$

$$I_{a0} = - \left(\frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} \right) \times I_{a1}$$

Maka besar arus gangguan ke tanah nya :

$$I_f = 3I_{a0}$$

3. Gangguan Tiga Fasa ke Tanah

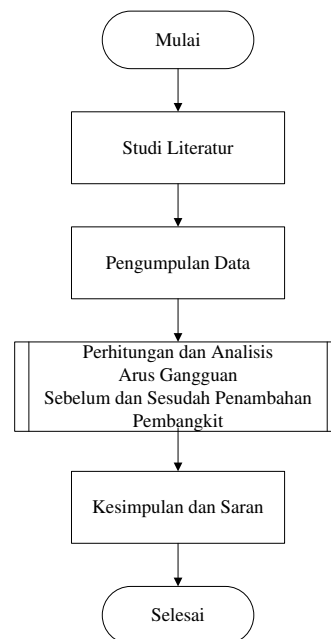
Persamaannya adalah :

$$I_f = I_a = I_b = I_c = E / Z_1$$

Berdasarkan Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) Bagian IV Bab 3E halaman 216, besar arus gangguan maksimum yang diijinkan pada suatu Sistem Gardu Induk atau Pembangkit adalah 40,000 A (PLN Pusat Pelayanan Enjiniring : Bab 6.13, Hal. 14).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini secara umum disusun sebagai berikut :



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

A. Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka yang dapat membantu dalam penelitian yang berhubungan dengan gangguan ke tanah pada Sistem Gardu Induk, serta analisis gangguan sebelum dan sesudah penambahan Pembangkit pada Sistem Gardu Induk Grati.

B. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal-jurnal, dan internet). Data sekunder lain yang diperlukan dalam kajian ini adalah :

- a. Spesifikasi Sistem Gardu Induk Grati.
- b. Spesifikasi Sistem Pembangkit baru.

C. Perhitungan Arus Gangguan pada Sistem Gardu Induk Grati

1. Data-Data Spesifikasi Sistem Sebelum Penambahan Pembangkit

Data-data spesifikasi Sistem Gardu Induk Grati sebelum adanya penambahan satu Unit Pembangkit yang dibutuhkan adalah rating daya, tegangan dan impedansi urutan tiap komponen sistem, seperti Pembangkit, Trafo Daya dan Saluran.

2. Penentuan Letak Titik Gangguan

Berdasarkan Gambar 1, ada 14 titik gangguan yang akan dicari nilai arus gangguannya pada Sistem Gardu Induk Grati sebelum adanya penambahan satu Unit Pembangkit, antara lain :

- a. Terminal Keluaran Pembangkit, antara lain : 1_A , 2.1_A , 2.2_A dan 3_A , 4.1_A , 4.2_A dan 5_A ; Terminal Keluaran Trafo, antara lain : 1_B , 2_B , 3_B , 4_B dan 5_B .
- b. Rel/busbar 500 kV dan 150 kV, yaitu : C_{500} dan C_{150} .

3. Perhitungan Impedansi Urutan

Setelah menentukan letak titik gangguan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung besarnya impedansi urutan Z_1 , Z_2 , Z_0 pada setiap titik gangguan. Perhitungan diperoleh dengan menyusun rangkaian impedansi urutan Z_1 , Z_2 , Z_0 dan menyederhanakan rangkaian impedansi tersebut sampai mendapatkan nilai pengantinya.

4. Perhitungan Nilai Arus Gangguan Berdasarkan Jenis Gangguan

Setelah impedansi urutan Z_1 , Z_2 , Z_0 pada setiap titik gangguan diperoleh, maka dapat dicari nilai arus gangguan berdasarkan tiga jenis gangguan yang terjadi, antara lain gangguan satu fasa ke tanah, gangguan dua Fasa ke Tanah dan gangguan tiga fasa ke tanah.

5. Data-Data Spesifikasi Sistem Pembangkit Baru

Data-data spesifikasi sistem Pembangkit baru yang dibutuhkan adalah rating tegangan, daya dan impedansi urutan dari Unit Pembangkit baru, Trafo Daya baru dan Saluran baru.

6. Perhitungan Arus Gangguan Sesudah Penambahan Pembangkit

Perhitungan arus gangguan ke tanah sesudah penambahan Pembangkit dilakukan dengan dua kondisi, yaitu pentanahan titik netral sistem baru langsung dan pentanahan titik netral sistem baru melalui tahanan. Pentanahan titik netral Sistem Gardu Induk (Trafo Daya atau Pembangkit) di Indonesia menggunakan tiga jenis pentanahan berdasarkan SPLN 2 : 1978 dan SPLN 26 : 1980, antara lain :

- 1) Pentanahan langsung.
- 2) Pentanahan melalui tahanan rendah (12 ohm atau 40 ohm).
- 3) Pentanahan melalui tahanan tinggi (500 ohm).

Pentanahan titik netral Sistem 500 kV di Pulau Jawa dilakukan tanpa tahanan / pentanahan langsung [2], termasuk Sistem Gardu Induk Grati 500 kV. Untuk kondisi kedua, tahanan yang digunakan adalah tahanan tinggi 500 ohm. Kondisi ini dimaksudkan agar nilai arus gangguan ke tanah yang terjadi bisa lebih kecil. Berdasarkan persamaan arus gangguan ke tanah bahwa impedansi berbanding terbalik dengan arus gangguan ke tanah ($I_f \sim \frac{1}{Z}$), maka semakin besar nilai tahanan pentanahan titik netral sistem, nilai arus gangguan ke tanah yang terjadi akan semakin kecil.

D. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan ditulis berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan. Pada bagian ini dijelaskan secara singkat tentang hasil yang telah diperoleh beserta saran untuk pengembangan selanjutnya.

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

A. Perhitungan Arus Gangguan ke Tanah Sebelum Penambahan Pembangkit

Hasil perhitungan arus gangguan ke tanah pada Sistem Gardu Induk Grati sebelum Penambahan Pembangkit (Gambar 1) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai Arus Gangguan ke Tanah pada sistem Gardu Induk Grati Sebelum Penambahan Pembangkit.

Titik Gangguan	Arus Gangguan (A)		
	1 Φ - G	2 Φ - G	3 Φ - G
1 _A	563.268	286.904	7616.343
2.1 _A	547.562	284.422	5388.217
2.2 _A	547.562	284.422	5388.217
3 _A	548.533	284.493	5541.630
4.1 _A	1821.529	947.806	17420.029
4.2 _A	1821.529	947.806	17420.029
5 _A	1825.184	948.071	17958.805
1 _B	4617.788	6211.637	11024.562
2 _B	4620.563	6216.936	11029.545
3 _B	4619.170	6214.166	11027.157
4 _B	13372.812	17608.544	32339.240
5 _B	13369.437	17602.034	32333.398
C ₅₀₀	4621.889	6219.027	11032.386
C ₁₅₀	13374.477	17610.509	32343.521

Sumber : Hasil Perhitungan.

B. Perhitungan Arus Gangguan ke Tanah Sesudah Penambahan Pembangkit

1. Kondisi Titik Netral Sistem yang Baru Ditanahkan Langsung

Hasil perhitungan arus gangguan ke tanah pada Sistem Gardu Induk Grati sesudah adanya penambahan satu Unit Pembangkit ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2 Nilai Arus Gangguan ke Tanah Sesudah Penambahan Pembangkit dengan Titik Netral Sistem yang Baru Ditanahkan Langsung.

Titik Gangguan	Arus Gangguan (A)		
	1 Φ - G	2 Φ - G	3 Φ - G
1 _A	564.468	286.984	8163.515
2.1 _A	549.562	284.568	5716.499
2.2 _A	549.562	284.568	5716.499

3 _A	550.303	284.623	5851.141
4.1 _A	1825.054	948.062	17937.691
4.2 _A	1825.054	948.062	17937.691
5 _A	1828.299	948.298	18450.405
6 _A	570.457	287.790	11183.860
1 _B	6215.903	8438.921	14759.653
2 _B	6221.278	8449.225	14769.353
3 _B	6219.416	8445.498	14766.155
4 _B	14919.760	19234.677	36558.180
5 _B	14915.873	19227.353	36551.442
6 _B	6221.548	8449.602	14769.986
C ₅₀₀	6224.901	8455.565	14776.509
C ₁₅₀	14922.453	19237.869	36565.117

Sumber : Hasil Perhitungan.

2. Kondisi Titik Netral Sistem yang Baru Ditanahkan melalui Tahanan

Besar arus gangguan ke tanah untuk kondisi yang kedua berdasarkan perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Nilai Arus Gangguan ke Tanah Sesudah Penambahan Pembangkit dengan Titik Netral Sistem yang Baru Ditanahkan melalui Tahanan.

Titik Gangguan	Arus Gangguan (A)		
	1 Φ - G	2 Φ - G	3 Φ - G
1 _A	564.468	286.984	8163.515
2.1 _A	549.562	284.568	5716.499
2.2 _A	549.562	284.568	5716.499
3 _A	550.303	284.623	5851.141
4.1 _A	1825.054	948.062	17937.691
4.2 _A	1825.054	948.062	17937.691
5 _A	1828.299	948.298	18450.405
6 _A	570.457	287.790	11183.860
1 _B	5861.791	7249.513	14759.653
2 _B	5866.534	7257.011	14769.353
3 _B	5864.631	7253.502	14766.155
4 _B	14784.520	18791.449	36558.180
5 _B	14780.631	18784.224	36551.442
6 _B	5865.190	7252.436	14769.986
C ₅₀₀	5869.326	7260.369	14776.509
C ₁₅₀	14787.038	18794.085	36565.117

Sumber : Hasil Perhitungan.

C. Analisis Hasil Perhitungan

Sebelum adanya penambahan Unit Pembangkit baru, arus gangguan ke tanah terbesar (maksimum) yang terjadi pada Rel Gardu Induk, yaitu rel 150 kV (titik B₁₅₀) adalah 32343.521 A (3 Φ - G). Sesudah adanya penambahan satu Unit Pembangkit, nilai arus gangguan ke tanah secara

umum meningkat. Tabel 2 menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan Unit Pembangkit baru dimana titik netral Sub-Sistem baru ditanahkan langsung, arus gangguan maksimum meningkat menjadi 36565.117 A. Nilai arus maksimum sangat berpengaruh terhadap rating kerja peralatan, khususnya peralatan pemutus yang berada di titik dimana arus gangguan maksimum terjadi. PMT pada Rel 150 kV merupakan jenis PMT tegangan tinggi dengan media isolasi gas SF₆ yang mempunyai kemampuan memutus arus sampai 40 kA dan digunakan pada range tegangan 35 s/d 245 kV (SPLN 1.1995 – 3.5). Dengan demikian, PMT ini masih dapat menanggung nilai arus maksimum baik sebelum penambahan unit baru (32343.521 A) maupun sesudah penambahan unit baru (36565.117 A).

Walaupun nilai arus gangguan maksimum (tiga fasa ke tanah) dengan menggunakan tahanan pada titik netral Sub-Sistem baru nilainya tetap, kondisi ini dapat menurunkan nilai arus gangguan yang lain, yaitu gangguan satu fasa ke tanah dan tiga fasa ke tanah. Hal ini diperhitungkan karena gangguan satu fasa ke tanah dan dua fasa ke tanah lebih sering terjadi pada suatu sistem daya listrik.

V. Penutup

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- 1) Sebelum adanya penambahan Pembangkit, arus gangguan maksimum pada Sistem Gardu Induk Grati sebelum penambahan Unit Pembangkit baru adalah 32343.521 A (Rel 150 kV).
- 2) Sesudah adanya penambahan Pembangkit, nilai arus gangguan untuk dua kondisi pentanahan titik netral sistem yang baru adalah sebagai berikut :
 - a. Nilai arus gangguan ke tanah untuk kondisi titik netral sistem yang baru ditanahkan langsung meningkat dibandingkan dengan sebelum adanya penambahan Pembangkit. Arus maksimum setelah penambahan Pembangkit dengan titik netral sub-sistem baru ditanahkan langsung meningkat menjadi 36565.117 A.
 - b. Dengan adanya tahanan pentanahan 500 ohm pada titik netral sub-sistem baru, arus gangguan maksimum dibandingkan dengan kondisi titik

netral sistem yang baru ditanahkan langsung nilainya tetap, yaitu 36565.117 A. Nilai arus maksimum ini masih di bawah nilai rating kerja peralatan (PMT), yaitu di bawah 40 kA. Dalam hal ini, PMT masih dapat menanggung nilai arus maksimum sesudah adanya penambahan Unit baru. Walaupun nilai arus maksimum dengan menggunakan tahanan nilainya tetap, jika ditinjau dari perbandingan arus gangguan satu fasa ke tanah dan dua fasa ke tanahnya, terjadi penurunan. Selisih penurunan arus gangguan maksimum nya mencapai 2.3 %.

B. Saran

Analisis arus gangguan ke tanah pada Gardu Induk Grati ini dapat dikembangkan dengan memperhitungkan sistem jaringan yang lebih luas (jaringan 150 kV, 500 kV dan Beban) dan menambahkan titik-titik gangguan pada sistem secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson, Paul M. 1995. *Analysis of Faulted Power Systems*. IEEE Inc., New York.
- [2] Hutahuruk, T.S. 1999. *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [3] IEEE Std. 80. 2000. *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. USA.
- [5] PLN Pusat Pelayanan Enjiniring. 1994. *Grati Combined Cycle Power Plant 1 X 500 MW + 3 X 100 MW Design Manual*. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
- [6] Sulasno. 1993. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Satya Wacana, Semarang.
- [7] Stevenson, William D., Jr. 1993. Terjemahan : Ir. Kamal Idris. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Edisi Keempat, Penerbit Erlangga. Jakarta.
- [8] Suyono, Hadi. 2008. *Analisis Gangguan Pada Sistem Daya Elektrik*. Materi Kuliah, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.